

Reflexão sobre simulação pelo método de elementos finitos de vigas com não linearidade geométrica.

Reflection on finite element simulation of beams with geometric nonlinearity.

RESUMO

Thiago Gimenes Albertin
thiagobertin@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, PR, Brasil.

Adailton Silva Borges
adailton@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, PR, Brasil.

O presente trabalho propõe uma reflexão sobre a escolha do tipo de solução que deve ser escolhida pelo usuário de qualquer software de elementos finitos quando o modelo físico apresentar não linearidade do tipo geométrica, sobre pena de obter resultados que não correspondem ao modelo físico. Para essa análise, foram considerados dados experimentais de outros dois trabalhos de autores distintos. Com base nos resultados dos modelos simulados, observou-se as diferenças entre os diferentes tipos de formulação para modelagem de vigas. No presente trabalho foram utilizados três tipos: a formulação clássica de Euler-Bernoulli; o elemento de viga de Cosserat e viga não linear baseada no elemento de vigas de Timoshenko. Ao final os resultados foram confrontados com dados experimentais para se obter um parâmetro quantitativo, para avaliar as diferentes metodologias.

PALAVRAS-CHAVE: Cosserat. Elementos Finitos. Não-linear.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

THIS PAPER PROPOSES A REFLECTION ABOUT THE CHOICE OF THE TYPE OF SOLUTION THAT MUST BE CHOSEN BY THE ANALYST OF ANY FINITE ELEMENT SOFTWARE WHEN THE PHYSICAL MODEL PRESENT GEOMETRIC NONLINEARITY, ON PENALTY OF RESULTS THAT DO NOT REPRESENT THE PHYSICAL MODEL. FOR THIS ANALYSIS, EXPERIMENTAL DATA FROM TWO OTHER PAPERS FROM DIFFERENT AUTHORS WERE CONSIDERED. BASED ON THE RESULTS OF THE SIMULATED MODELS, IT WAS OBSERVED THE DIFFERENCES BETWEEN THE DIFFERENT TYPES OF BEAM MODELING FORMULATION. IN THE PRESENT WORK THREE TYPES WERE USED: THE CLASSIC FORMULATION OF EULER-BERNOULLI; COSSERAT BEAM ELEMENT AND NONLINEAR BEAM BASED ON TIMOSHENKO BEAM ELEMENT. AT THE END THE RESULTS WERE COMPARED WITH EXPERIMENTAL DATA TO OBTAIN A QUANTITATIVE PARAMETER TO EVALUATE THE DIFFERENT METHODOLOGIES.

KEYWORDS: Cosserat. FEM. NonLinear.

INTRODUÇÃO

O método de elementos finitos é uma ferramenta de engenharia desenvolvida com base em métodos numéricos para solucionar equações que representam fenômenos físicos, a ideia fundamental do método é fazer a representação de sistemas contínuos a partir de vários elementos menores interligados entre si, formando uma malha. Essa malha é gerada durante a etapa de pré-processamento, onde o usuário do software deve optar por fazer ou não algumas simplificações no modelo, buscando sempre otimizar o tempo de simulação e a representatividade da solução em relação ao modelo físico. Algumas dessas simplificações são feitas sobre não linearidades inerentes ao mundo físico. As não linearidades podem ser divididas em dois grupos, são eles (BATHE, 1996):

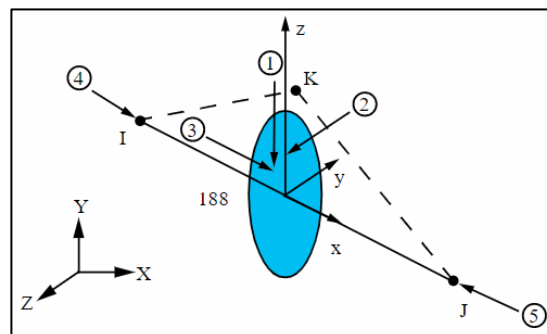
- a) Não linearidade física ou material, quando acaba a proporcionalidade entre as cargas e as deformações apresentadas pela estrutura.
- b) Não linearidade geométrica, resultante de grandes deslocamentos e grandes rotações apresentadas pela estrutura fazendo com que a distribuição das cargas sofra alteração.

O presente trabalho prevê algumas observações quanto à simplificação da não linearidade na análise de estruturas delgadas sujeitas a flexão, com pequenos e grandes deslocamentos/deformações.

DESENVOLVIMENTO

Os elementos tem papel fundamental no modelo, com base no tipo de elemento o software monta as equações na forma matricial e gera a solução para a simulação. Existem algumas simplificações na formulação que fazem com que eles sejam capazes ou não de gerar soluções não lineares. O ANSYS apresenta vários tipos de elementos em sua biblioteca, o elemento utilizado para reproduzir os experimentos dos trabalhos referenciados está representado na Figura 1.

Figura 1 – Representação do elemento BEAM188

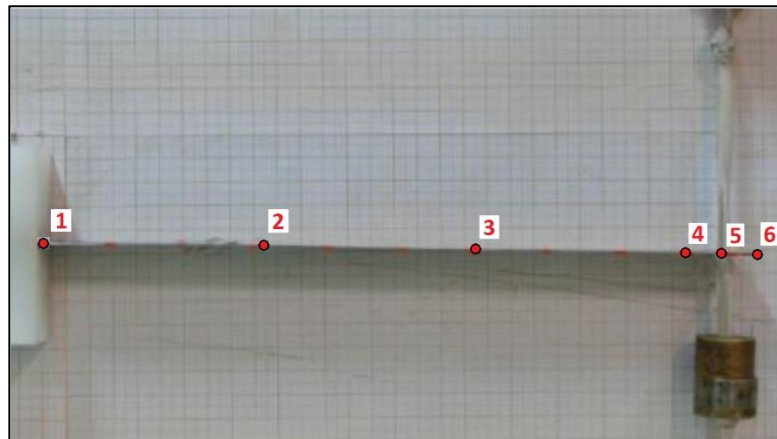


Fonte: Help ANSYS.

O elemento do tipo BEAM188 é do tipo unidimensional, com 6 ou 7 graus de liberdade, possui as duas formulações, pode ser utilizado tanto para análises de estruturas lineares quanto para estruturas geometricamente não lineares.

O primeiro trabalho analisado, BAPTISTA (2016), apresenta dados experimentais de uma viga em flexão, as dimensões da viga são 120 x 34,9 x 1,2 mm (comprimento x largura x espessura), as propriedades mecânicas do material são: módulo de Young de 177 GPa e densidade de 7850 kg/m³, a Figura 2 ilustra o layout experimental.

Figura 2 – Layout experimental



Fonte: BAPTISTA, R. G. (2016).

Sobre os valores experimentais, o autor aplica duas modelagens numéricas, uma linear utilizando a formulação clássica do elemento de viga de Euler-Bernoulli e a segunda utilizando o elemento não linear de viga de Cosserat. A viga encontra-se engastada em uma das extremidades e sujeita à flexão devido ao peso próprio e cargas aplicadas na extremidade livre. Os valores de deslocamento obtidos pelo autor com carga de 1,5 N e 5 N estão na tabela 1.

Tabela 1 – Deslocamentos em função da carga.

Carga [N]	Nó	Deslocamento Experimental	Deslocamento Cosserat [mm]	Erro [%]	Deslocamento Euler [mm]	Erro [%]
1,5	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
1,5	2	0,0770	0,0842	9,3506	0,0744	0,12
1,5	3	0,2695	0,2922	8,4230	0,2671	1,11
1,5	4	0,5471	0,5934	8,4628	0,5327	1,16
1,5	5	0,7142	0,7751	8,5270	0,7081	1,28
1,5	6	0,8451	0,9149	8,2594	0,8261	1,72
5	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	16,78
5	2	0,2895	0,2922	0,9326	0,2479	17,79
5	3	1,0488	1,0502	0,1335	0,8904	16,64
5	4	2,0712	2,0946	1,1298	1,7757	17,50
5	5	2,7734	2,7851	0,4219	2,3603	17,69
5	6	3,2406	3,2489	0,2561	2,7536	16,78

Fonte: BAPTISTA, R. G. (2016).

Analisando os dados obtidos pelo autor, é possível constatar que o elemento de Euler-Bernoulli apresenta precisão enquanto o deslocamento não supera 1% em relação ao comprimento da viga, já para o elemento de Cosserat, o erro tende a diminuir conforme aumenta a deformação da viga.

Com o auxílio do software ANSYS, fez-se um modelo semelhante ao apresentado anteriormente em duas condições, com a formulação linear e com uma adaptação não linear sobre o elemento de Timoshenko. A tabela 2 apresenta os resultados obtidos durante a simulação, esses são comparados com os deslocamentos experimentais apresentados anteriormente.

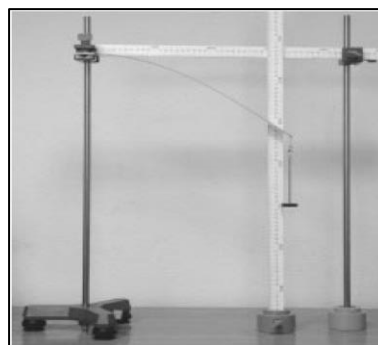
Tabela 2 – Comparação entre deslocamento experimental e a viga de Timoshenko (ANSYS).

Carga [N]	Nó	Deslocamento Experimental [mm]	Deslocamento ANSYS linear [mm]	Erro [%]	Deslocamento ANSYS Não Linear [mm]	Erro [%]
1,5	1	0	0	0	0	0,00
1,5	2	0,0770	0,0807	4,81	0,0807	4,81
1,5	3	0,2695	0,2936	8,94	0,2936	8,94
1,5	4	0,5471	0,5860	7,11	0,5859	7,09
1,5	5	0,7142	0,7798	9,19	0,7798	9,19
1,5	6	0,8451	0,9107	7,76	0,9106	7,75
5	1	0,0000	0,0000	0	0,0000	0,00
5	2	0,2922	0,2471	15,43	0,2471	15,43
5	3	1,0488	0,9027	13,93	0,9027	13,93
5	4	2,0712	1,8076	12,73	1,808	12,71
5	5	2,7734	2,4092	13,13	2,409	13,14
5	6	3,2406	2,8154	13,12	2,815	13,13

Fonte: Próprio autor (2019).

O segundo caso a ser analisado pelo presente trabalho também trata sobre a não linearidade geométrica de uma viga em flexão, entretanto, a geometria da viga apresentada neste segundo artigo tem 400 x 25 x 0,4 mm (comprimento x largura x espessura). O material apresenta módulo de Young de 194,3 GPa e densidade de 7580 kg/m³. O layout do segundo experimento está representado na Figura 3.

Figura 3 – Layout apresentado pelo segundo experimento



Fonte: Beléndez Vázquez, Tarsicio & Neipp, Cristian & Beléndez, Augusto. (2003).

Segundo os autores do segundo experimento, os deslocamentos obtidos pelo experimento físico e pela simulação no ANSYS, estão relacionados na Tabela 3.

Tabela 3 – Deslocamentos em função da carga para o segundo experimento.

Carga [N]	Deslocamento Experimental [m]	Deslocamento Timoshenko Não Linear [m]	Erro [%]
0,000	0,089	0,0898	0,89
0,098	0,149	0,1516	1,71
0,196	0,195	0,1960	0,25
0,294	0,227	0,2270	0,51
0,392	0,251	0,2495	0,60
0,490	0,268	0,2661	0,71
0,588	0,281	0,2785	0,90

Fonte: Beléndez Vázquez, Tarsicio & Neipp, Cristian & Beléndez, Augusto. (2003).

Foram reproduzidas as simulações do segundo experimento, com o auxílio do software ANSYS, os valores obtidos encontram-se na tabela 4.

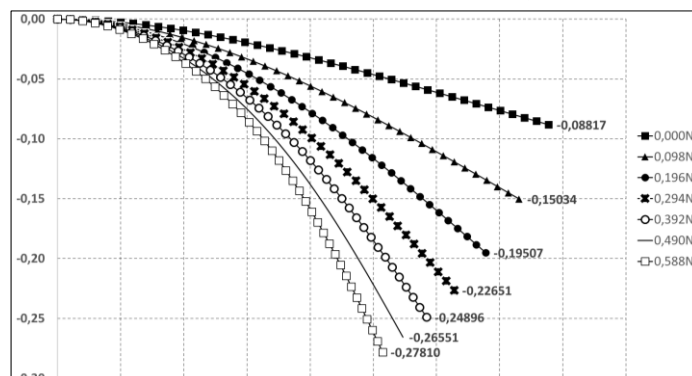
Tabela 4 – Deslocamento simulados no ANSYS para o segundo experimento.

Carga [N]	Deslocamento Experimental [m]	Deslocamento Timoshenko Não Linear [m]	Erro [%]
0,000	0,089	0,08817	0,93
0,098	0,149	0,15034	0,90
0,196	0,195	0,19507	0,04
0,294	0,227	0,22651	0,22
0,392	0,251	0,24896	0,81
0,490	0,268	0,26551	0,93
0,588	0,281	0,27810	1,03

Fonte: Próprio autor (2019).

Com os deslocamentos nodais apresentados pelo ANSYS referentes ao segundo experimento, foi construída a Figura 4, que relaciona a deformação da viga em função das cargas.

Figura 4 – Deslocamentos reproduzidos com base no segundo experimento



Fonte: Próprio autor.

CONCLUSÃO

Diante dos valores obtidos pelos dois experimentos e dos resultados reproduzidos pelo ANSYS, é possível afirmar que o elemento do tipo viga com a formulação clássica de Euler-Bernoulli se mostra mais eficiente e representativo para estruturas com pequenos deslocamentos e pequenas deformações, para estruturas com deslocamentos entre 1% e 5% do comprimento total da viga, o elemento mais eficiente é o de Cosserat. Acima de 5% o elemento de Timoshenko não linear se mostrou satisfatório. Nos trabalhos futuros serão realizadas simulações com elementos de Cosserat para avaliar a sua efetividade em deslocamentos superiores a 5%.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UTFPR-CP e a todos os meus professores, em especial ao meu orientador Adailton Silva Borges por todo apoio e orientação para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BATHE, K J. **Finite Element Procedures**. 2ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, Inc, 1996. 1029p.

ANSYS® Structural Analysis, Release 19.0, **Help System**. Mechanical APDL Structural Analysis Guide.

BAPTISTA, R. G. **Análise experimental e numérica de uma viga sujeita a flexão**. 2016. 60f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Curso Superior em Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2016.

BELÉNDEZ VÁZQUEZ, TARSICIO & NEIPP, CRISTIAN & BELÉNDEZ, AUGUSTO. (2003). **Numerical and Experimental Analysis of a Cantilever Beam: A Laboratory Project to Introduce Geometric Nonlinearity in Mechanics of Materials**. International Journal of Engineering Education. 19.